

ارزیابی تحمل جو رقم کارون در کویر (*Hordeum vulgare* L.) در رابطه با تنش نسبت‌های آنیونی کلر به سولفات آب آبیاری

مهرنوش اسکندری تربقان^{۱*}، علی رضا آستارایی^۲، مسعود اسکندری تربقان^۱ و علی گنجعلی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۳/۳)

چکیده

تنش شوری، نقش مهمی در کاهش تولید محصولات زراعی دارد. در اکثر گیاهان، آنیون‌های کلر و سولفات آب و خاک عامل اصلی کاهش رشد و عملکرد هستند. برای ارزیابی شاخص‌های تحمل و حساسیت به کلر و سولفات آب آبیاری و همچنین تأثیر نیتروژن بر عملکرد گیاه جو، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. شاخص‌های کمی مقاومت به تنش مانند: میانگین تولید، شاخص تحمل، میانگین هندسی، شاخص حساسیت به تنش، نسبت کاهش عملکرد و شاخص تحمل به تنش براساس عملکرد گیاه در شرایط بدون تنش و تنش، محاسبه شد. هم‌بستگی شاخص تحمل به تنش با عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش گیاه بیشتر از سایر شاخص‌ها بود. بررسی مقادیر استاندارد شده بتا در معادلات عملکرد دانه و کاه و کلش گیاه با شاخص تحمل به تنش نشان داد که تأثیر کلر نسبت به سولفات بر کاهش تحمل گیاه به تنش شوری بیشتر بود. هم‌چنین نسبت‌های آنیونی ۱:۳ و ۱:۲ کلر به سولفات در عملکرد دانه و ۱:۲ و ۱:۱ کلر به سولفات در کاه و کلش گیاه، بیشترین مقاومت نسبت به تنش شوری را در مقایسه با شرایط مطلوب ایجاد نمودند که مطالعه نمودار پراکنش نیز آن را تأیید نمود.

واژه‌های کلیدی: جو، نسبت‌های آنیونی کلر به سولفات، تنش شوری، شاخص‌های تحمل به تنش

۱. به ترتیب کارشناس ارشد و عضو هیئت علمی خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، خراسان شمالی، بجنورد

۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehmoosh_eskandary@yahoo.com

مقدمه

تنش شوری یکی از عوامل کاهش قابلیت اراضی برای تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. یون‌های مختلف در محلول خاک دارای ویژگی‌های متفاوتی از نظر جذب و انتقال هستند. جذب کلر توسط ریشه گیاه بیشتر از سولفات بوده و بنابراین در محلول‌هایی با اسمز مشابه که یون کلر بیشتر از سولفات باشد، خسارت شوری شدیدتر است (۲۳). در گونه‌های وحشی تحمل یا مقاومت به تنش، به صورت بقا در شرایط نامساعد تعریف می‌شود. ولی در گیاهان زراعی واژه مقاومت توانایی تولید در شرایط نامطلوب است (۱۶). در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی، عملکرد دانه و ثبات عملکرد در شرایط مختلف محیطی به عنوان معیارهای اصلی انتخاب برای تحمل به تنش منظور می‌شود. ثبات عملکرد به معنای تفاوت اندک بین عملکرد پتانسیل (توان گیاه) و حقیقی گیاه (عملکرد مزرعه) در شرایط محیطی مختلف است (۲۴) که می‌تواند ناشی از شرایط ویژگی ژنتیکی، جبران اجزای عملکرد، تحمل تنش، ظرفیت بازیافت سریع پس از رفع تنش و یا تلفیقی از این عوامل باشد (۲۲). زیاد بودن عملکرد در شرایط تنش می‌تواند ناشی از تحمل زیاد به تنش و یا ظرفیت تولید بالا و یا هر دو مکانیسم باشد (۲۰). برای ارزیابی واکنش گیاهان در شرایط محیطی مختلف و تعیین میزان مقاومت و حساسیت آنها، شاخص‌های گوناگونی ارائه شده است که شاخص‌های تحمل (Tolerance Index) (TOL) و میانگین تولید (Mean Productivity) (MP) (MP) دو مورد از آنها می‌باشند (۲۵). شاخص تحمل تفاوت عملکرد گیاه در دو شرایط متفاوت و MP میانگین تولید در شرایط تنش و عدم تنش است. زیاد بودن TOL نشانه حساسیت گیاه به تنش بوده و اساساً انتخاب بر مبنای مقادیر کم TOL انجام می‌شود. ولی زیاد بودن MP تحمل بیشتر به تنش را نشان می‌دهد. از دیگر شاخص‌های ارزیابی گیاهان در شرایط محیطی مختلف، شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) (SSI) است که در آن عملکرد دانه گیاه تحت شرایط مطلوب و تنش اندازه‌گیری و شدت تنش نیز بر اساس میانگین عملکرد

ژنوتیپ‌ها تحت شرایط مطلوب و تنش تعیین می‌شود. مقادیر کم SSI حاکی از تغییرات کم عملکرد گیاه در شرایط تنش در مقایسه با شرایط عدم تنش و در نتیجه مقاومت بیشتر گیاه است (۲۰).

کاربرد شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) (STI) بر اساس عملکرد هر گیاه در دو شرایط مطلوب و تنش و مربع میانگین عملکرد تمامی گیاهان مورد آزمایش در شرایط مطلوب است (۱۹). دامنه تغییر STI بین صفر و یک بوده و مقدار آن همواره مثبت می‌باشد. هرچه مقدار STI بیشتر باشد نشانه بیشتر بودن مقاومت گیاه به تنش است. در ارزیابی تحمل لاین‌ها و ژنوتیپ‌های گندم به تنش خشکی مشخص شده که هم‌بستگی شاخص تحمل به تنش (STI) با عملکرد گیاه نسبت به سایر شاخص‌ها بیشتر است (۲۴ و ۲۶). بررسی تأثیر شوری بر ۸ رقم نخود زراعی نشان داد که نمک‌های NaCl ، CaCl_2 و Na_2SO_4 به نسبت ۱:۲:۷ در هدایت الکتریکی به ترتیب ۴، ۶ و ۸ دسی سیمنز بر متر بایومس و عملکرد گیاهان را کاهش و قند محلول، آمینواسید و پروتئین آنها را افزایش دادند (۲۷). هم‌چنین شاخص STI در این مطالعه به عنوان بهترین شاخص در ارزیابی ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری معرفی شد (۲۷). مطالعه تأثیر تنش شوری در شرایط مزرعه بر خصوصیات مختلف ۲۶ رقم گندم ایرانی و خارجی نشان داد که شاخص مقاومت به شوری (نسبت عملکرد دانه در محیط شور به عملکرد دانه در محیط غیرشور) با صفت عملکرد دانه در محیط شور هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری داشت (۷). به منظور مطالعه آثار تنش شوری بر صفات کمی و کیفی ارقام کلزای پاییزه، تعیین مکانیزم‌های احتمالی تحمل به شوری و شناسایی بهترین شاخص مقاومت، آزمایشی با تیمارهای ترکیبی از ۳ وارپته (زرغام، سرز و اکاپی)، دو نوع نمک (کلرید سدیم و کلرید کلسیم) و چهار میزان شوری (۱۲، ۸، ۴ و صفر دسی زیمنس بر متر) انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری اثر منفی معنی‌داری بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد خورجین خوشه اصلی و فرعی، تعداد دانه در خورجین خوشه اصلی و

شرایط شوری برای گیاه جو و ارائه معادله مناسب برای حداکثر عملکرد جو در شرایط تنش شوری ناشی از غالبیت یون‌های کلر و سولفات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی ۶ نسبت آنیونی کلر به سولفات شامل شاهد (C_0S_0)، نسبت ۱:۱ (C_1S_1)، نسبت ۱:۲ (C_1S_2)، نسبت ۱:۳ (C_1S_3)، نسبت ۱:۲ (C_2S_1) و نسبت ۱:۳ (C_3S_1) با استفاده از نمک‌های سولفات کلسیم و کلرید کلسیم و ۲ مقدار نیتروژن (N_1) ۷۵ و (N_2) ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد مطالعه شد. علاوه بر این، برای مقایسه سطوح کود نیتروژن و تعیین شاخص‌های کمی تحمل به تنش، از یک شاهد (بدون اعمال کود نیتروژن و نسبت‌های آنیونی کلر به سولفات) نیز با سه تکرار استفاده شد. جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد $36 \times 36 \times 32$ سانتی‌متر با ۲۰ کیلوگرم خاک پر شده و به عنوان بستر کاشت استفاده شد (جدول ۱). نیتروژن مورد نیاز به صورت فسفات دی‌آمونیم بر اساس نیاز گیاه جو به فسفر (۶۰ کیلوگرم در هکتار) برای هر جعبه محاسبه و قبل از کشت به خاک اضافه شد. با توجه به مقدار ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، مقادیر کود بر اساس ۲۰ کیلوگرم خاک برای هر جعبه $1/6$ و $3/2$ گرم مصرف شد. باقی‌مانده کود نیتروژن مورد نیاز تا سطح ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با استفاده از کود اوره به صورت سرک در طول دوره رشد گیاهان، طی دو مرحله به جعبه‌ها اضافه شد. تعداد ۳۰ عدد بذر ضد عفونی شده جو رقم اصلاح شده کارون در کویر به صورت جوی و پشته کشت و در طول دوره رشد گیاه، آبیاری با آب شور شش دسی‌سیم بر متر و نسبت‌های متفاوت آنیونی کلر به سولفات انجام شد. هم‌چنین نیاز آبی گیاه جو (نیاز خالص آبیاری برای گیاه جو توسط نرم‌افزار Netwat، ۲۵۱۰ متر مکعب در هکتار در نظر گرفته شد که هر ده روز به گیاهان داده شد). توسط نرم‌افزار Netwat محاسبه

فرعی، طول خورجین در خوشه اصلی و فرعی، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین داشته ($P < 0/001$) و صفات مذکور به ترتیب $0/92/4$ ، $0/67$ ، $0/85/5$ ، $0/86/3$ ، $0/72/96$ ، $0/72/8$ ، $0/77/03$ ، $0/76/9$ ، $0/68/42$ و $0/40/15$ کاهش را نشان دادند (۶). رقم زرفام در کلیه صفات بالاترین مقادیر را به استثنای عملکرد روغن دارا بود. تجزیه داده‌ها هم‌چنین نشان داد که شوری میزان پرولین، پروتئین و قند ارقام را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($P < 0/001$). بیشترین غلظت قند و پروتئین در تیمار شاهد و کمترین آنها در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید. در مقابل با افزایش شوری غلظت پرولین نیز افزایش یافت. بر اساس شاخص‌های مقاومت STI، MP و GMP رقم زرفام در بالاترین سطح قرار داشت و به عنوان رقم مقاوم شناخته شد (۶). در ارزیابی تحمل به شوری ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر در شروع رشد رویشی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش میزان تحمل به شوری هفت رقم تجاری و امیدبخش نیشکر در مرحله ابتدای رشد رویشی با استفاده از غلظت‌های صفر (شاهد)، $0/25$ ، $0/5$ و $0/75$ درصد نمک کلرید سدیم (NaCl) از طریق شاخص‌های مختلف تحمل به تنش و ترسیم نمودارهای سه بعدی و بای پلات پراکنش ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها ارزیابی شدند (۵). با بررسی شاخص‌های مختلف برای عملکرد وزن خشک ارقام نیشکر، مشخص شد که ژنوتیپ NCO-310 دارای پتانسیل تولید ماده خشک بالا در تمامی سطوح تنش بود. علاوه بر این رقم CP82-1592 در شدت تنش‌های متوسط و زیاد پتانسیل تولید ماده خشک نسبتاً بالا و حساسیت کم و تحمل زیاد به تنش شوری را دارا بود. بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI) به عنوان بهترین شاخص گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و عملکرد بالا، می‌توان نتیجه گرفت که رقم تجاری NCO-310 و رقم امیدبخش CP82-1592 در کلیه سطوح تنش از جمله متحمل‌ترین ارقام بودند (۵).

هدف از این مطالعه ارزیابی مناسب‌ترین ترکیب آنیونی در آب آبیاری با استفاده از شاخص‌های کمی تحمل به تنش در

جدول ۱. خصوصیات خاک قبل از شروع آزمایش

| CaCO _r | Cu | Zn | Mn | Fe | SAR | Na | Mg | Ca | K | P | N | EC | pH | بافت |
|-------------------|---------------------|------|----|-----|-----|---------------------|-----|-----|---------------------|-----|-------|-------------------|-----|------|
| % | mg kg ⁻¹ | | | | - | meq l ⁻¹ | | | mg kg ⁻¹ | | % | dSm ⁻¹ | — | — |
| ۱۵/۵ | ۰/۶۶ | ۰/۴۵ | ۲۰ | ۷/۴ | ۵ | ۸/۷ | ۲/۵ | ۳/۵ | ۱۸۵ | ۳/۵ | ۰/۰۴۳ | ۱/۸ | ۷/۶ | لوم |

$$Y_T = 1 - (Y_s / Y_p) \quad [4]$$

$$SSI = 1 - (Y_s / Y_p) / D \quad [5]$$

$$D = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \quad [6] \text{ شدت یا سختی تنش محیطی}$$

$$STI = \frac{Y_s \cdot Y_p}{(\bar{Y}_p)^2} \quad [7]$$

در روابط فوق Y_s و Y_p به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش در شرایط تنش نسبت‌های آبیونی کلر به سولفات آب آبیاری و بدون تنش و \bar{Y}_s و \bar{Y}_p نیز به ترتیب میانگین عملکرد دانه و کاه و کلش گیاه در شرایط تنش و بدون تنش نسبت‌های آبیونی است.

نتیجه و بحث

عملکرد دانه در جعبه، تحت تأثیر نسبت‌های کلر به سولفات در تمامی تیمارها، نسبت به شاهد بیشتر بود ($P < 0/01$). حداکثر این افزایش در دو تیمار C_1S_3 و C_1S_2 به ترتیب با $52/4$ و $39/4$ درصد بود. حداقل افزایش مربوط به تیمار C_2S_1 بود که نسبت به شاهد $20/8$ درصد بیشتر بود (جدول ۲). مطالعه شوری خاک و نوع نمک بر استقرار اولیه و رشد گیاهانی نظیر آتریپلکس (*Atriplex canescens*)، هالیمون (*Halimion verrucifera*)، ... نشان داد که عملکرد تمامی گونه‌ها در نمک سولفات بیشتر از تیمارهای نمک کلرور بود (۱۲). تفاوت کاه و کلش گیاه با شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی معنی‌دار نبود (جدول ۳).

تفاوت حداکثر و حداقل عملکرد دانه با کاربرد نیتروژن تغییر کرد به طوری که در تیمارهای $C_1S_2N_2$ و $C_0S_0N_1$ به ترتیب با $45/4$ و $27/6$ درصد افزایش و کاهش نسبت به شاهد

گردید (۴). مقدار نمک مورد نیاز برای تهیه آب شور بر اساس محاسبه اکی والان این نمک‌ها و با حل کردن مقادیر مشخصی از نمک‌های سولفات کلسیم و کلرید کلسیم در آب برای هر دور آبیاری (۱۰ روزه) گیاهان محاسبه و پس از گذشت ۱۰ روز از تاریخ کاشت، اولین دور آبیاری با آب شور انجام شد. یک ماه پس از کاشت، گیاهچه‌های موجود تنک شده و ۱۶ عدد نگهداری شد. در طول دوره رشد گیاه برای مبارزه با شته سبز و مینوز سه نوبت سم پاشی انجام شد. پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، در پایان دوره رشد (۱۲۰ روز پس از کاشت) صفاتی مانند عملکرد کاه و کلش و دانه در جعبه اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس گیاهان از سطح خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. داده‌های حاصل با نرم افزار MSTAT-C تجزیه آماری و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ مقایسه شد.

با توجه به عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش در شرایط تنش و مطلوب، شاخص‌های مختلف حساسیت و مقاومت به شوری براساس فرمول‌های موجود محاسبه شد (۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۵). ضرایب هم‌بستگی آنها با عملکرد نیز با کمک نرم‌افزار MSTAT-C محاسبه گردید. برای تعیین روابط بین تیمارها و رسم نمودارهای پراکنش از نرم‌افزار STATISTICA استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (بای پلات)، تجزیه خوشه‌ای، نمودار دندروگرام و معادله رگرسیون چند متغیره نیز به وسیله نرم افزار آماری JMP انجام گرفت.

$$TOL = Y_p - Y_s \quad [1]$$

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \quad [2]$$

$$GMP = \sqrt{Y_s \cdot Y_p} \quad [3]$$

جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد دانه در جعبه (گرم) و شاخص‌های کمی تحمل به تنش

| تیمار | عملکرد دانه (گرم) | TOL | MP | GMP | Yr | SSI | STI |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| C ₀ S ₀ | ۱۱/۶۵ ^d | -۲۴۸۳ ^{bc} | ۱۰۴۱۰ ^e | ۱۰۲۷۰ ^d | -۰/۲۷۰۷ ^b | -۱۰/۰۵ ^b | ۰/۶۶۵۴ ^d |
| C ₁ S ₁ | ۱۶/۲۲ ^{ab} | -۷۰۵۰ ^e | ۱۲۶۹۰ ^c | ۱۲۱۹۰ ^c | -۰/۷۶۸۳ ^d | -۱۴/۳۸ ^d | ۰/۹۲۵۷ ^{ab} |
| C ₁ S ₂ | ۱۴/۵۲ ^c | -۵۳۵۰ ^d | ۱۱۸۴۰ ^d | ۱۱۵۳۰ ^c | -۰/۵۸۳۰ ^c | -۱۲/۷۶ ^c | ۰/۸۲۸۵ ^c |
| C ₁ S ₃ | ۱۵/۰۵ ^{bc} | -۱۰۵۰ ^{ab} | ۱۴۵۳۰ ^b | ۱۴۵۰۰ ^b | -۰/۰۷۴۵ ^a | -۰/۳۱۹۳ ^a | ۰/۸۵۶۸ ^{bc} |
| C ₂ S ₁ | ۱۷/۵۸ ^a | -۳۵۸۳ ^c | ۱۵۷۹۰ ^a | ۱۵۶۸۰ ^a | -۰/۲۵۵۵ ^b | -۱/۰۹۰ ^a | ۱/۰۰۲ ^a |
| C ₃ S ₁ | ۱۴/۳۰ ^c | -۳۰۰/۰ ^a | ۱۴۱۵۰ ^b | ۱۴۱۴۰ ^b | -۰/۰۲۱۳۳ ^a | -۰/۰۹۰۸۳ ^a | ۰/۸۱۴۸ ^c |
| ±Sd | ۲/۳۷۵۶۳ | ۲۸۰۷/۲۷ | ۱۹۶۳/۴۶ | ۲۰۱۱/۴۰ | ۰/۳۰۶ | ۶/۲۸۱ | ۰/۱۳۵ |

*: اعداد هر ستون که حداقل یک حرف مشابه دارند، مطابق آزمون دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد کاه و کلش گیاه (گرم) و شاخص‌های کمی تحمل به تنش

| تیمار | عملکرد کاه (گرم) | TOL | MP | GMP | Yr | SSI | STI |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| C ₀ S ₀ | ۱۶۲۰۰ ^a | -۶۶۶/۷ ^{ab} | ۱۵۸۷۰ ^b | ۱۵۸۵۰ ^b | ۰/۰۳۲ ^{ab} | -۰/۲۱۲۰ ^{ab} | ۰/۵۹۹۰ ^b |
| C ₁ S ₁ | ۱۶۸۰۰ ^a | -۱۲۶۷ ^b | ۱۶۱۷۰ ^b | ۱۶۱۵۰ ^b | ۰/۰۷۴۵ ^a | -۰/۴۰۳۰ ^b | ۰/۶۲۱۲ ^b |
| C ₁ S ₂ | ۱۶۰۴۰ ^a | -۵۰۸/۳ ^{ab} | ۱۵۷۹۰ ^b | ۱۵۷۸۰ ^b | ۰/۰۲۸۳۳ ^{ab} | -۰/۱۶۱۷ ^{ab} | ۰/۵۹۳۲ ^b |
| C ₁ S ₃ | ۱۸۰۰۰ ^a | -۱۰۰/۰ ^{ab} | ۱۷۹۵۰ ^a | ۱۷۹۴۰ ^a | ۰/۰۰۲ ^{ab} | -۰/۰۴۰۱۷ ^{ab} | ۰/۷۶۷۰ ^a |
| C ₂ S ₁ | ۱۸۰۳۰ ^a | -۱۳۳/۳ ^{ab} | ۱۷۹۷۰ ^a | ۱۷۹۶۰ ^a | ۰/۰۰۲۶۶۷ ^{ab} | -۰/۰۵۳۵ ^{ab} | ۰/۷۶۸۳ ^a |
| C ₃ S ₁ | ۱۶۸۸۰ ^a | ۱۰۱۷ ^a | ۱۷۳۹۰ ^a | ۱۷۳۸۰ ^a | -۰/۰۶۳۵ ^b | -۰/۴۰۸۰ ^a | ۰/۷۱۹۳ ^a |
| Sd± | ۱۳۵۶/۸۹ | ۱۳۰۷/۴۰ | ۱۱۰۱/۵۴ | ۱۱۰۳/۲۵ | ۰/۰۷۸۷ | ۰/۴۷۴۴ | ۰/۰۸۸۶ |

*: اعداد هر ستون که حداقل یک حرف مشابه دارند، مطابق آزمون دانکن ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری ندارند.

۱:۱ و ۱:۲) در دو سطح نیتروژن ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد که افزایش مقدار کود نیتروژن در خاک‌هایی با نسبت‌های کلر به سولفات ۱:۱ و ۲:۱ توانسته است تأثیر مثبتی در افزایش وزن ماده خشک شاخسار این گیاه داشته باشد (۱). مقایسه میانگین نسبت‌های کلر به سولفات (جدول ۲) در رابطه با شاخص‌های کمی تحمل به تنش نشان داد که حداقل حساسیت گیاه به تنش شوری با توجه به شاخص‌های TOL و SSI در تیمارهای C₁S₁ و C₁S₂ و حداکثر آن در تیمار C₃S₁ مشاهده گردید. بالاترین مقدار شاخص‌های MP، GMP و STI به ترتیب متعلق به تیمارهای C₁S₁ و C₁S₃ بودند و حداقل در تیمار C₀S₀ بود.

مقایسه میانگین عملکرد کاه و کلش گیاه در رابطه با

معنی‌دار بود (جدول ۴). تیمار C₁S₂N₁، ۳۳/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش و فاقد تفاوت معنی‌دار با تیمار بیشترین بود (جدول ۴). حداکثر و حداقل عملکرد کاه و کلش گیاه در تیمار C₀S₀N₁ و C₁S₂N₂ مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۸/۷ و ۲۴/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). حداکثر کاهش عملکرد کاه و کلش گیاه در سایر تیمارهای آزمایشی و فاقد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر به ترتیب C₁S₁N₂ (۱۱/۶)، C₀S₀N₂ (۱۲/۶)، C₂S₁N₂ (۱۴/۴)، C₁S₃N₂ (۱۵/۲)، C₁S₂N₁ (۱۷/۱)، C₁S₁N₁ (۱۷/۶)، C₁S₃N₁ (۱۹/۳)، C₃S₁N₂ (۲۰/۷)، C₂S₁N₁ (۲۱/۶) و C₂S₃N₁ (۲۱/۷) درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۵).

مطالعه واکنش گندم به نسبت‌های کلر به سولفات (۱:۲)،

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش عملکرد دانه (گرم)

| تیمار | عملکرد دانه (گرم) | TOL | MP | GMP | Yr | SSI | STI |
|--|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| C ₀ S ₀ N ₁ | ۹/۱۶۷ ^f | ۰ ^a | ۹۱۶۷ ^b | ۹۱۶۱ ^g | ۰ ^{ab} | -۷/۶۹۱ ^c | ۰/۵۲۲۷ ^f |
| C ₀ S ₀ N ₂ | ۱۴/۱۳ ^{de} | -۴۹۶۷ ^{de} | ۱۱۶۵ ^g | ۱۱۳۸ ^f | -۰/۵۴۱۳ ^e | -۱۲/۴۰ ^d | ۰/۸۰۶۳ ^e |
| C ₁ S ₁ N ₁ | ۱۵/۵۷ ^{bcd} | -۶۴۰۰ ^{ef} | ۱۲۳۷ ^{fg} | ۱۱۹۴ ^{ef} | -۰/۶۹۷۳ ^{fg} | -۱۳/۷۶ ^e | ۰/۸۸۸۷ ^{bcd} |
| C ₁ S ₁ N ₂ | ۱۶/۸۷ ^{ab} | -۷۷۰۰ ^f | ۱۳۰۲ ^{ef} | ۱۲۴۳ ^e | -۰/۸۳۹۳ ^g | -۱۴/۹۹ ^f | ۰/۹۶۲۷ ^{ab} |
| C ₁ S ₂ N ₁ | ۱۴/۶۰ ^{cde} | -۵۴۳۳ ^{de} | ۱۱۸۸ ^g | ۱۱۵۶ ^f | -۰/۵۹۲۰ ^{ef} | -۱۲/۸۴ ^{de} | ۰/۸۳۳۳ ^{cde} |
| C ₁ S ₂ N ₂ | ۱۴/۴۳ ^{cde} | -۵۲۶۷ ^{de} | ۱۱۸۰ ^g | ۱۱۵۰ ^f | -۰/۵۷۴۰ ^{ef} | -۱۲/۶۸ ^{de} | ۰/۸۲۳۷ ^{de} |
| C ₁ S ₃ N ₁ | ۱۴/۰ ^{de} | ۰ ^a | ۱۴۰۰ ^d | ۱۳۹۹ ^d | ۰/۰۰۰۳۳ ^{ab} | -۲/۴×۱۰ ^{-۹a} | ۰/۷۹۷۷ ^{de} |
| C ₁ S ₃ N ₂ | ۱۶/۱۰ ^{bc} | -۲۱۰۰ ^{bc} | ۱۵۰۵ ^{bc} | ۱۵۰۱ ^{bc} | -۰/۱۴۹۳ ^{bc} | -۰/۶۳۸۷ ^{ab} | ۰/۹۱۶۰ ^{bc} |
| C ₂ S ₁ N ₁ | ۱۶/۷۳ ^b | -۲۷۳۳ ^c | ۱۵۳۷ ^b | ۱۵۳۰ ^b | -۰/۱۹۴۷ ^{cd} | -۰/۸۳۱۰ ^{ab} | ۰/۹۵۳۳ ^b |
| C ₂ S ₁ N ₂ | ۱۸/۴۳ ^a | -۴۴۳۳ ^d | ۱۶۲۲ ^a | ۱۶۰۶ ^a | -۰/۳۱۶۳ ^d | -۱/۳۴۹ ^b | ۱/۰۵۱ ^a |
| C ₃ S ₁ N ₁ | ۱۵۰۳۰ ^{cde} | -۱۰۳۳ ^{ab} | ۱۴۵۲ ^{cd} | ۱۴۵۱ ^{cd} | -۰/۰۷۳۳ ^{abc} | -۰/۳۱۳۷ ^{ab} | ۰/۸۵۶۷ ^{cde} |
| C ₃ S ₁ N ₂ | ۱۳/۵۷ ^e | -۴۳۳/۳ ^a | ۱۳۷۸ ^{de} | ۱۳۷۸ ^d | ۰/۰۳۰۶۷ ^a | ۰/۱۳۲۰ ^a | ۰/۷۷۳۰ ^e |
| ±Sd | ۲/۳۷۵۶۳ | ۲۸۰۷/۲۷ | ۱۹۶۳/۴۶ | ۲۰۱۱/۴۰ | ۰/۳۰۶ | ۶/۲۸۱ | ۰/۱۳۵ |

*: اعداد هر ستون که حداقل یک حرف مشابه دارند، مطابق آزمون دانکن ($P \leq 0/05$) اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش عملکرد کاه و کلش (گرم)

| تیمار | عملکرد کاه (گرم) | TOL | MP | GMP | Yr | SSI | STI |
|--|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| C ₀ S ₀ N ₁ | ۱۵/۵۳ ^d | -۰/۰۰۳ ^{ab} | ۱۵۵۳ ^d | ۱۵۵۱ ^d | -۰/۰۱۳۶۷ ^{ab} | ۰ ^{ab} | ۰/۵۷۴۳ ^d |
| C ₀ S ₀ N ₂ | ۱۶/۸۷ ^{abcd} | -۱۳۳۳ ^b | ۱۶۲۰ ^{cd} | ۱۶۱۸ ^{cd} | ۰/۰۷۷۶۷ ^a | -۰/۴۲۴۰ ^b | ۰/۶۲۳۷ ^{cd} |
| C ₁ S ₁ N ₁ | ۱۶/۹۷ ^{abcd} | -۱۴۳۳ ^b | ۱۶۲۵ ^{cd} | ۱۶۲۳ ^{cd} | ۰/۰۸۴ ^a | -۰/۴۵۶۰ ^b | ۰/۶۲۷۳ ^{cd} |
| C ₁ S ₁ N ₂ | ۱۶/۶۳ ^{bcd} | -۱۱۰۰ ^b | ۱۶۰۸ ^{cd} | ۱۶۰۷ ^{cd} | ۰/۰۶۵ ^a | -۰/۳۵ ^b | ۰/۶۱۵۰ ^d |
| C ₁ S ₂ N ₁ | ۱۶/۰۳ ^{cd} | -۵۰۰ ^b | ۱۵۷۸ ^d | ۱۵۷۷ ^d | ۰/۰۲۷۳۳ ^a | -۰/۱۵۹۰ ^b | ۰/۵۹۲۷ ^d |
| C ₁ S ₂ N ₂ | ۱۶/۰۵ ^{cd} | -۵۱۶/۷ ^b | ۱۵۷۹ ^d | ۱۵۷۸ ^d | ۰/۰۲۹۳۳ ^a | -۰/۱۶۴۳ ^b | ۰/۵۹۳۷ ^d |
| C ₁ S ₃ N ₁ | ۱۷/۹۰ ^{abc} | ۰ ^{ab} | ۱۷۹۰ ^{ab} | ۱۷۸۹ ^{ab} | -۰/۰۰۶ ^{ab} | -۰/۰۰۰۴۹ ^{ab} | ۰/۷۶۲۷ ^{ab} |
| C ₁ S ₃ N ₂ | ۱۸/۱۰ ^{ab} | -۲۰۰ ^{ab} | ۱۸۰۰ ^{ab} | ۱۸۰۰ ^{ab} | ۰/۰۱ ^{ab} | -۰/۰۸۰۳۳ ^b | ۰/۷۷۱۳ ^a |
| C ₂ S ₁ N ₁ | ۱۸/۷۰ ^a | -۸۰۰ ^b | ۱۸۳۰ ^a | ۱۸۲۸ ^a | ۰/۰۳۸۳۳ ^a | -۰/۳۲۱۰ ^b | ۰/۷۹۶۷ ^a |
| C ₂ S ₁ N ₂ | ۱۷/۳۷ ^{abcd} | ۵۳۳/۳ ^{ab} | ۱۷۶۳ ^{ab} | ۱۷۶۳ ^{ab} | -۰/۰۳۳ ^{ab} | ۰/۲۱۴۰ ^{ab} | ۰/۷۴ ^{ab} |
| C ₃ S ₁ N ₁ | ۱۷/۵۳ ^{abcd} | ۳۶۶/۷ ^{ab} | ۱۷۷۲ ^{ab} | ۱۷۷۱ ^{ab} | -۰/۰۲۲۶۷ ^{ab} | ۰/۱۴۷ ^{ab} | ۰/۷۴۷۰ ^{ab} |
| C ₃ S ₁ N ₂ | ۱۶/۲۳ ^{bcd} | ۱۶۶۷ ^a | ۱۷۰۷ ^{bc} | ۱۷۰۴ ^{bc} | -۰/۰۱۰۴۳ ^b | ۰/۶۶۹۰ ^a | ۰/۶۹۱۷ ^{bc} |
| ±Sd | ۱/۳۵۶۸۹ | ۱۳۰۷/۴۰ | ۱۱۰۱/۵۴ | ۱۱۰۳/۲۵ | ۰/۰۷۸۷ | ۰/۴۷۴۴ | ۰/۰۸۸۶ |

*: اعداد هر ستون که حداقل یک حرف مشابه دارند، مطابق آزمون دانکن ($P \leq 0/05$) اختلاف معنی داری ندارند.

داده‌ها در جدول ۶ بیانگر آن است که شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد دانه هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری داشته ولی با شاخص‌های Yr، TOL و SSI این هم‌بستگی معنی‌داری نبوده است. ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره نشان داد ضرایب هم‌بستگی این شاخص‌ها با یکدیگر در مورد MP، GMP و STI در شرایط تنش و بدون تنش بسیار معنی‌دار شد (۸)، با توجه به این که شاخص STI با شاخص‌های MP و GMP هم‌بستگی معنی‌دار داشت و نیز این که این شاخص به طور مؤثر ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک کرد، بنابراین به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی شد (۸).

نتایج آزمایش هم‌چنین نشان داد که هم‌بستگی عملکرد دانه و شاخص STI در تیمارهای C₁S₂ و C₁S₃ یعنی نسبت بالاتر سولفات بیشتر بوده لیکن این نسبت در کاه و کلش گیاه و قدرت تحمل نسبت به تنش شوری قدری کاهش داشته به طوری که نسبت‌ها از C₁S₃ و C₁S₂ به C₁S₁ و C₁S₂ تغییر یافته است (جدول ۲ و ۳).

رابطه بین مقادیر کلر، سولفات و نیتروژن با شاخص STI، که بالاترین ضریب هم‌بستگی با عملکرد دانه ($r^2=1$) و سایر شاخص‌ها را داراست، در معادله ۱ مشخص شده است.

$$STI = 0.483 + 0.023 Cl + 0.0893 SO_4 + 0.0608 N \quad (1)$$

$$(r^2 = 0.735)$$

این معادله تأثیر مثبت این سه پارامتر بر مقدار STI و در نتیجه افزایش مقاومت گیاه در عملکرد دانه به تنش شوری را نشان می‌دهد. هم‌چنین بررسی مقادیر استاندارد شده بتا (Std Beta) نشان داد که برای افزایش مقدار STI به ترتیب سولفات، سپس نیتروژن و نهایتاً کلر دارای اهمیت و تأثیر می‌باشند. در مطالعه‌ای دو ساله روی گندم، معادله رگرسیون خطی برای عملکرد دانه با شاخص STI به دست آمد که از هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری برای عملکرد با شاخص STI (به ترتیب ۸۷ و ۸۸ درصد برای سال اول و دوم آزمایش)

شاخص‌های کمی تحمل به تنش (جدول ۳) نیز نشان داد که تیمارهای C₁S₁ و C₂S₁ به ترتیب حساس‌ترین و مقاوم‌ترین تیمارها به تنش شوری با توجه به شاخص TOL و SSI بودند، و مقایسه سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نشان نداد.

در بررسی شاخص‌های MP، GMP و STI روندی مشابه مشاهده شد (جدول ۳)، به طوری که سه تیمار C₁S₃، C₂S₁ و C₂S₁ بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر، بالاترین مقادیر را دارا بودند.

براساس نتایج، پایین‌ترین و بالاترین مقادیر TOL برای عملکرد دانه، به ترتیب تیمارهای C₁S₁N₁، C₁S₁N₂ حداکثر و در تیمارهای C₂S₁N₂ و C₁S₂N₁، C₀S₀N₁ حداقل بود (جدول ۴). بالاترین شاخص MP برای تیمار C₂S₁N₂ در عملکرد دانه، پایین‌ترین مقدار شاخص MP در C₀S₀N₁ و C₁S₂N₂، C₀S₀N₂ و C₁S₂N₁ مشاهده شد (جدول ۴). شاخص‌های GMP و STI مشابه شاخص MP از روند تغییرات مشابهی برخوردار بودند (جدول ۴). پایین‌ترین نسبت کاهش عملکرد (Yr) با توجه به جدول ۴ به ترتیب در تیمارهای C₁S₁N₁، C₁S₁N₂، C₁S₂N₁ و C₁S₂N₂ ملاحظه شد. مقایسه شاخص SSI (جدول ۳) دارای روند تغییرات مشابهی با نسبت کاهش عملکرد دانه بود. عده‌ای از محققان (۱۰ و ۱۳) عقیده دارند بهترین شاخص برای تفکیک حساسیت نسبی گیاهان در تنش‌ها از جمله خشکی، شاخصی است که با و بدون تنش با عملکرد دانه هم‌بستگی نسبتاً بالایی نشان دهد.

پایین‌ترین مقدار TOL برای عملکرد کاه و کلش گیاه در تیمارهای C₁S₁N₁ و C₀S₀N₂، و بالاترین در تیمار C₂S₁N₂ بود (جدول ۵). حداکثر مقدار برای شاخص‌های MP، GMP و STI در عملکرد کاه و کلش گیاه نیز در تیمار C₂S₁N₁ مشاهده گردید (جدول ۵).

پایین‌ترین نسبت کاهش عملکرد (Yr) در تیمار C₂S₁N₂ مشاهده گردید (جدول ۴). مقایسه نتایج نشان داد روند تغییرات شاخص SSI نیز مشابه تغییرات کاهش کاه و کلش گیاه جو بود.

جدول ۶. ضرایب هم‌بستگی ساده بین عملکرد کاه و کلش و دانه در جعبه با شاخص‌های مختلف

| STI | SSI | Yr | GMP | MP | Tol | |
|---------|----------|--------|---------|---------|--------|--------------------------------|
| ۰/۸۷۴** | -۰/۳۴۸ | -۰/۰۵۱ | ۰/۸۷۰** | ۰/۸۶۹** | -۰/۰۹۲ | عملکرد کاه و کلش (گرم در جعبه) |
| ۱ | -۰/۸۹۶** | -۰/۱۰۴ | ۰/۶۲۰* | ۰/۶۸۱* | -۰/۲۸۷ | عملکرد دانه (گرم در جعبه) |

* و **: به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است.

برخوردار بود (۲۱).

ارتباط بین مقادیر کلر، سولفات و نیتروژن با شاخص STI، که بالاترین ضریب هم‌بستگی با عملکرد کاه و کلش گیاه (۰/۸۷۴) در بین سایر شاخص‌ها را دارا بود در معادله ۲ مشخص شده است.

$$STI = 0.376 - 0.0089 Cl + 0.010 SO_4 + 0.105 N \quad (r^2 = 0.733) \quad [2]$$

این معادله تأثیر مثبت دو پارامتر سولفات و نیتروژن بر مقدار STI و در نتیجه افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری را نشان می‌دهد. کلر بر خلاف دو پارامتر فوق باعث کاهش عملکرد کاه و کلش گیاه در رابطه با تنش شوری گردید. هم‌چنین بررسی مقادیر استاندارد شده بتا نشان داد که افزایش سه ویژگی خاکی در مقدار شاخص STI به ترتیب $Cl^- > SO_4 > N$ بوده است.

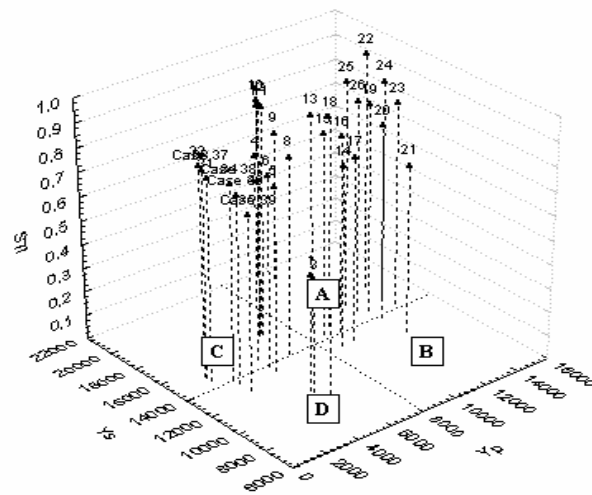
نمودار سه بعدی اشکال ۱ و ۲ رابطه بین سه متغیر، عملکرد در شرایط تنش (Ys)، عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و STI را در ارتباط با عملکرد دانه و کاه و کلش گیاه نشان می‌دهد. در نمودار پراکنش سه بعدی با تقسیم‌بندی سطح پایین نمودار (سطح X با Y) به چهار قسمت مساوی تیمارها به چهار گروه مجزا دسته‌بندی شدند. گروه (A) تیمارهایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالایی بودند، گروه (B) تیمارهایی که در محیط بدون تنش دارای عملکرد بالا و در محیط تنش دارای عملکرد پایین بودند و گروه (C) تیمارهایی که در محیط تنش دارای عملکرد بالا و در محیط بدون تنش دارای عملکرد پایین بودند و گروه (D) تیمارهایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایین بودند.

بهترین شاخص برای تعیین مقاومت به تنش آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها جدا کند (۲۳). نتایج حاصل

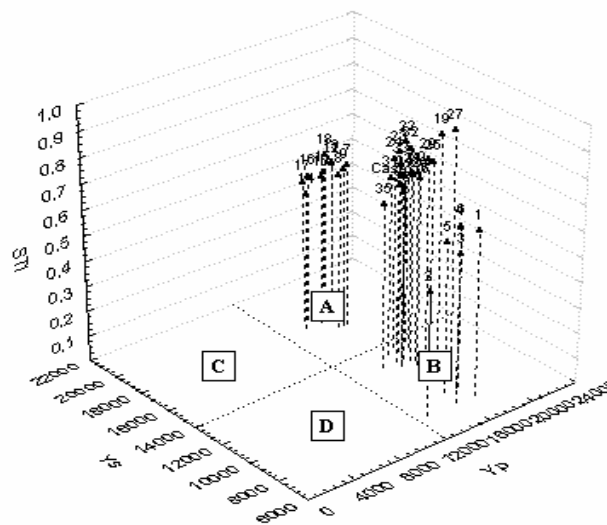
از ارزیابی نمودار (شکل ۱) نشان می‌دهد که تیمارهای C₁S₂، C₂S₁ و C₁S₂ در گروه A و تیمار شاهد C₀S₀ در گروه D قرار دارند. کاربرد نمودار پراکنش سه بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها در گیاهان توسط محققان مختلف گزارش شده است (۹، ۱۸ و ۲۴). شکل ۲ نمودار پراکنش بین عملکرد کاه و کلش گیاه در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص STI را نشان می‌دهد. تمامی تیمارهای آزمایش در نمودار تنها به دو گروه A و B تعلق داشتند. تیمارهای C₁S₁ و C₁S₂ در گروه A و سایر تیمارهای آزمایش با توجه به دو شاخص فوق در گروه B قرار گرفتند. نتایج نمودارها برای سه شاخص MP، GMP و SSI از همین روند پیروی نمود.

نمودار پراکنش سه بعدی تنها رابطه سه متغیر را بررسی می‌کند لذا در این آزمایش از نمودار چند متغیره بای پلات برای خلاصه کردن ماتریس داده‌های چند متغیره و ارائه آنها به صورت قابل تفسیر استفاده شد. بر این اساس ابتدا ماتریس داده‌های مربوط به شاخص‌های مقاومت به خشکی (جدول ۷) به ۶ مؤلفه تقسیم گردید. بیشترین تغییرات بین داده‌ها برای عملکرد دانه (جدول ۷) و عملکرد کاه و کلش (جدول ۸) توسط دو مؤلفه اول (به ترتیب ۹۹/۸ و ۹۹/۴ درصد) بیان شد و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر چندانی در میزان تغییرات نداشت، بنابراین نمودار مربوطه تأثیر این دو مؤلفه را به خوبی نمایش می‌دهد. داده‌های آزمایش به صورت نقاط در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. مؤلفه اول بیشترین درصد از کل واریانس‌ها را شامل گردید و هم‌بستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های MP، GMP و STI نشان داد.

این مؤلفه با دو شاخص Yr و TOL هم‌بستگی پایین و منفی و با SSI از هم‌بستگی پایین ولی مثبت برخوردار بود.



شکل ۱. نمودار پراکنش بین Y_p ، Y_s و شاخص STI در ارتباط با عملکرد دانه



شکل ۲. نمودار پراکنش بین Y_p ، Y_s و شاخص STI در ارتباط با کاه و کلش گیاه

مؤلفه دوم برای شاخص‌های TOL ، MP و STI از هم‌بستگی مثبت و بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار بود. بنابراین بهترین شاخص‌هایی که این مؤلفه‌ها قادر به تفکیک آن می‌باشند دو مؤلفه MP و STI است. مطالعه تأثیر تنش خشکی بر گندم نان نشان داد که دو مؤلفه اول (Principal component analysis (PCA_1)) مؤلفه تجزیه کننده پتانسیل تولید در برابر مقاومت به خشکی) و دوم (Principal component analysis (PCA_2)) مؤلفه جدا کننده ژنوتیپ‌های مقاوم از ژنوتیپ‌های حساس به خشکی) حدود ۶۶ و ۳۴ درصد واریانس‌ها را توضیح دادند به طوری که این دو مؤلفه با عملکرد و شاخص STI هم‌بستگی داشتند (۲۱). بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای PCA_1 بالا و PCA_2 پایین بودند در هر دو شرایط مطلوب و تنش مناسب بودند. نقاط نمایش داده شده در شکل ۴ تیمارهای آزمایش هستند.

مؤلفه دوم برای شاخص‌های TOL ، MP و STI از هم‌بستگی مثبت و بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار بود. بنابراین بهترین شاخص‌هایی که این مؤلفه‌ها قادر به تفکیک آن می‌باشند دو مؤلفه MP و STI است. مطالعه تأثیر تنش خشکی بر گندم نان نشان داد که دو مؤلفه اول (Principal component analysis (PCA_1)) مؤلفه تجزیه کننده پتانسیل تولید در برابر مقاومت به خشکی) و دوم (Principal component analysis (PCA_2)) مؤلفه جدا کننده ژنوتیپ‌های مقاوم از ژنوتیپ‌های حساس به خشکی) حدود ۶۶ و ۳۴ درصد واریانس‌ها را توضیح دادند به طوری که این دو مؤلفه با عملکرد و شاخص STI هم‌بستگی داشتند (۲۱). بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای PCA_1 بالا و PCA_2 پایین بودند در هر دو شرایط مطلوب و تنش مناسب بودند. نقاط نمایش داده شده در شکل ۴ تیمارهای آزمایش هستند.

جدول ۷. مقادیر ویژه حاصل از ماتریس همبستگی شاخص‌های کمی مقاومت به تنش در عملکرد دانه

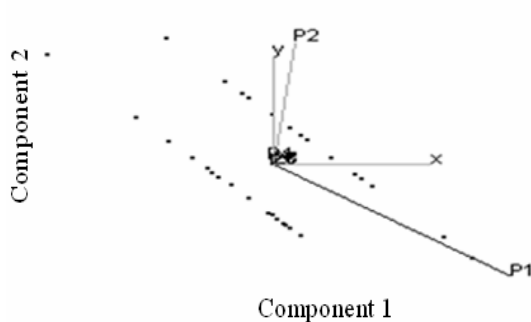
| مؤلفه‌ها | مقادیر ویژه | سهم تجمعی (%) | بردارهای ویژه | | | | | |
|----------|-------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | STI | SSI | Yr | GMP | MP | TOL |
| ۱ | ۳/۳۱۵۷ | ۵۵/۲۶۱ | ۰/۱۵۵۲۶ | ۰/۵۳۵ | ۰/۴۰۲۹۱ | ۰/۴۶۶۴ | ۰/۴۳۷۵۴ | ۰/۳۴۴۰۴ |
| ۲ | ۲/۶۷۲۷ | ۹۹/۸۰۶ | ۰/۵۸۶۶۲ | -۰/۱۳۶۲۹ | -۰/۴۱۴۱۷ | ۰/۳۲۲۷۰ | ۰/۳۶۹۱۶ | -۰/۴۷۴۷۱ |
| ۳ | ۰/۰۱۱۳ | ۹۹/۹۹۴ | -۰/۱۶۴۴۵ | -۰/۳۴۰۸۳ | -۰/۵۳۸۲۹ | ۰/۱۳۶۹۲ | ۰/۲۸۸۷۰ | ۰/۶۸۱۸۶ |
| ۴ | ۰/۰۰۰۳ | ۱۰۰/۰۰ | -۰/۳۱۵۵۴ | ۰/۲۰۴۷۵ | -۰/۰۳۱۵۵ | -۰/۸۱۱۶۴ | ۰/۴۲۴۲۸ | ۰/۱۳۶۸۸ |
| ۵ | ۰/۰۰۰۰ | ۱۰۰/۰۰ | ۰/۷۱۰۷۴ | -۰/۱۷۰۷۶ | ۰/۱۴۰۴۶ | ۰/۰۲۳۸۷ | -۰/۵۲۳۵۸ | ۰/۴۱۳۸۳ |
| ۶ | ۰/۰۰۰۰ | ۱۰۰/۰۰ | ۰/۰۰۳۳۷ | -۰/۷۱۲۷۱ | ۰/۵۹۶۳۶ | -۰/۰۱۵۹۷ | ۰/۳۶۷۱۶ | -۰/۰۳۶۸۳ |

جدول ۸. مقادیر ویژه حاصل از ماتریس همبستگی شاخص‌های کمی مقاومت به تنش در عملکرد کاه و کلش

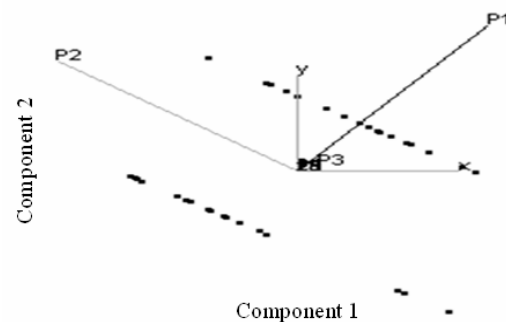
| مؤلفه‌ها | مقادیر ویژه | سهم تجمعی (%) | بردارهای ویژه | | | | | |
|----------|-------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | STI | SSI | Yr | GMP | MP | TOL |
| ۱ | ۴/۴۱۴۳ | ۶۳/۰۶۲ | ۰/۳۴۸۴۳ | ۰/۴۴۹۶۷ | -۰/۴۶۲۹۴ | ۰/۳۴۸۶۵ | ۰/۳۴۸۷۹ | ۰/۴۶۴۰۲ |
| ۲ | ۲/۵۶۵۶ | ۹۹/۷۱۴ | -۰/۱۸۲۶۰ | ۰/۶۹۶۳۸ | ۰/۶۸۱۷۹ | ۰/۱۰۱۹۲ | ۰/۰۶۴۴۸ | ۰/۰۱۱۳۹ |
| ۳ | ۰/۰۱۷۹ | ۹۹/۹۷۰ | ۰/۲۵۵۵۲ | -۰/۳۷۴۳۸ | ۰/۴۵۳۹۶ | ۰/۱۴۹۸۷ | -۰/۱۰۰۴۱ | ۰/۶۳۶۵۸ |
| ۴ | ۰/۰۰۲۱ | ۱۰۰/۰۰ | ۰/۷۸۹۹۶ | ۰/۲۴۶۴۰ | ۰/۰۵۸۳۸ | -۰/۳۸۵۸۶ | -۰/۲۹۶۶۹ | ۰-/۲۴۴۸۲ |
| ۵ | ۰/۰۰۰۰ | ۱۰۰/۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | -۰/۰۷۱۳۴ | ۰/۱۰۶۶۳ | -۰/۷۳۵۴۴ | ۰/۵۲۱۳۵ | ۰/۳۰۸۹۷ |
| ۶ | ۰/۰۰۰۰ | ۱۰۰/۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | -۰/۰۱۰۶۵ | ۰/۰۰۰۰ | -۰/۰۰۰۰ | -۰/۵۹۰۳۳ | ۰/۳۵۰۳۳ |

جدول ۹. شماره اختصاص یافته به تیمارها (نسبت‌ها) در نمودارهای تجزیه خوشه‌ای

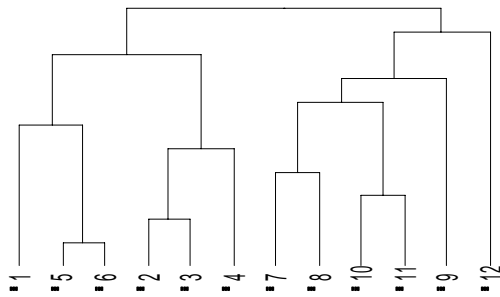
| شماره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| تیمار | C ₀ S ₀ N ₁ | C ₀ S ₀ N ₂ | C ₁ S ₁ N ₁ | C ₁ S ₁ N ₂ | C ₁ S ₂ N ₁ | C ₁ S ₂ N ₂ | C ₁ S ₃ N ₁ | C ₁ S ₃ N ₂ | C ₂ S ₁ N ₁ | C ₂ S ₁ N ₂ | C ₃ S ₁ N ₁ | C ₃ S ₁ N ₂ |



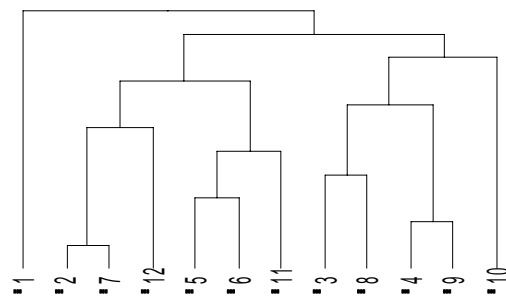
شکل ۴. نمودار بای پلات شاخص‌های کمی مقاومت به تنش براساس مؤلفه اول و دوم برای کاه و کلش گیاه



شکل ۳. نمودار بای پلات شاخص‌های کمی مقاومت به تنش براساس مؤلفه اول و دوم برای عملکرد دانه گیاه



شکل ۶. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای بر اساس شاخص STI برای عملکرد کاه و کلش گیاه



شکل ۵. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای بر اساس شاخص STI برای عملکرددانه گیاه

بررسی شاخص‌های مقاومت و حساسیت به تنش در گیاهان زراعی نشان داده است که کارایی این شاخص‌ها با روند تغییرات عملکرد در اثر شدت تنش محیط و هم‌چنین اهداف ارزیابی آنها متفاوت است. در این آزمایش روند تغییرات TOL همسو با تغییرات عملکرد دانه بود و این در حالی است که دو تیمار C_1S_2 و C_1S_3 در بین سایر تیمارها بالاترین مقدار STI و بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش را از خود نشان دادند. هم‌چنین شاخص STI از هم‌بستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه برخوردار بود. در شاخص STI علاوه بر عملکرد گیاه در شرایط مطلوب و تنش، به جای میانگین حسابی از میانگین هندسی استفاده می‌شود. گاهی اوقات مشکل ارزیابی توسط این شاخص از تساوی میانگین هندسی جفت اعدادی ناشی می‌شود که با یکدیگر تفاوت شدیدی دارند. لیکن این بررسی نشان داد که تیمارهایی که در شرایط مطلوب و تنش عملکرد بالایی داشتند در گروه با STI بالاتر قرار گرفتند، لذا در مجموع شاید بتوان گفت که این شاخص کارایی زیادی در تعیین عملکرد بالای گیاه در دو شرایط مطلوب و تنش شوری را از خود نشان داد. شناسایی ارقام متحمل به خشکی در جو در شرایط آبی و دیم نشان داد که STI، MP، و GMP مناسبترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در جو می‌باشند (۱۱). به منظور شناسایی شاخص‌های گزینشی در گیاه جو تحت شرایط تنش شوری، آزمایشی در دو محیط غیرشور و

مؤلفه اول بیشترین درصد از کل واریانس‌ها را شامل می‌شود و هم‌بستگی بالایی با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های MP، GMP، Yr و STI نشان داد. این مؤلفه با دو شاخص TOL و SSI از هم‌بستگی پایین و منفی برخوردار بود. مؤلفه دوم برای شاخص‌های TOL و SSI هم‌بستگی بسیار مثبت و بالایی نسبت به سایر شاخص‌ها نشان داد. مطالعه واریته‌های مقاوم به خشکی در گندم نشان داد که ۹۹/۵ درصد تغییرات بین شاخص‌ها توسط دو مؤلفه اول و دوم قابل توجیه بود (۱۸). مؤلفه اول با شاخص‌های MP، GMP، TOL و Yr هم‌بستگی مثبت و با شاخص STI هم‌بستگی منفی نشان داد و مؤلفه دوم تنها با دو شاخص STI و Yr هم‌بستگی مثبت نشان داد (۱۸).

شکل‌های ۵ و ۶ گروه‌بندی تیمارها بر اساس روش تجزیه خوشه‌ای را نشان می‌دهد. بررسی دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای عملکرد با شاخص STI نشان داد (شکل ۵) تنها تیمارهای شاهد (۱ و ۲) با سایر تیمارهای آزمایش دارای اختلاف معنی‌داری بوده و در گروه دیگری قرار دارند (جدول ۹). جداسازی و گروه‌بندی تیمارهای آزمایش توسط تجزیه خوشه‌ای امکان‌پذیر نشد. نتایج آزمایش بر اساس دندروگرام خوشه‌ای برای شاخص STI در کاه و کلش گیاه (شکل ۶) نشان داد که تنها سه تیمار $C_1S_2N_1$ ، $C_1S_2N_2$ و $C_1S_2N_3$ در یک گروه‌بندی مجزا قرار گرفتند. سایر تیمارهای آزمایش دارای تفاوت نبوده و همگی در یک گروه دیگر قرار گرفتند.

تنش و مطلوب است. نوری نیا و همکاران (۱۴) در مطالعه با جوه‌های معمولی و بدون پوشینه، از مقادیر بالای شاخص STI برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به شوری استفاده نمودند. براساس شاخص STI نسبت‌های C_{1S_2} و C_{1S_3} برای عملکرد دانه و C_{1S_1} و C_{1S_3} برای عملکرد کاه و کلش بیشترین مقاومت نسبت به تنش را از خود نشان دادند. در یک آزمایش گلخانه‌ای برتأثیر منبع نمک و مقادیر مختلف شوری خاک بر برخی از ویژگی‌های زراعی و ترکیب شیمیایی روناس مشخص شد که اثرات نامطلوب شوری بر رشد گیاه در مرتبه اول به مخلوط کلرور سدیم و سولفات سدیم، بعد کلرور سدیم و در نهایت به سولفات سدیم نسبت داده شد (۳). محققین اعلام داشتند که برای بسیاری از سبزیجات (Vegetables) مقاومت به شوری به میزان ۲ دسی‌سیمنز در شوری سولفاتی نسبت به شوری کلریدی بالاتر است (۱۵).

شور انجام شد (۲). نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری را برای اکثر صفات نشان داد، به طوری که اکثر صفات در اثر تنش شوری کاهش یافتند ولی بیشترین کاهش در صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ مشاهده شد. با استفاده از تجزیه علیت هم‌بستگی بین صفات باقی‌مانده در مدل به اثر مستقیم و غیر مستقیم تفکیک گردید. براساس تجزیه علیت در شرایط غیرشور تعداد دانه با اثر مستقیم ۰/۷۰۹ و در شرایط شور تعداد سنبله‌چه در سنبله با اثر مستقیم ۰/۱۶۱ مهم‌ترین جزء مؤثر بر عملکرد دانه تشخیص داده شدند. ضمناً، شاخص STI مناسب‌ترین شاخص برای تفکیک ژنوتیپ‌ها در تحمل به شوری انتخاب گردید (۲). با توجه به هدف این آزمایش که انتخاب شاخص مناسب برای تعیین عملکرد بالا در شرایط تنش بود، شاخص STI بهترین شاخص بوده و نشان‌دهنده عملکرد بالای گیاه در شرایط

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ح.، ع. آستارایی و ز. نقی زاده اصل. ۱۳۸۲. تأثیر سطوح شوری با نسبت‌های مختلف کلسیم به سولفات و مقادیر مختلف نیتروژن بر گیاه گندم در شرایط گلخانه. مجله بیابان (۲): ۳۱۲-۳۲۳.
۲. داداشی، م.ر.، ا. مجیدی هروان، ا. سلطانی و ع. نوری نیا. ۱۳۸۶. ارزیابی واکنش لاین‌های مختلف جو به تنش شوری. مجله علوم کشاورزی ۱: ۱۸۱-۱۹۱.
۳. دشتکیان، ک. و م. ج. بحرانی. ۱۳۸۶. تأثیر سطوح و منابع مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های زراعی و ترکیب شیمیایی روناس (*Rubia tinctorum* L.). دانش کشاورزی ۱۷(۱): ۶۳-۶۸.
۴. دهقانی، م.، ا. علیزاده، غ. کمالی، م. وظیفه دوست، آ. محمدیان و ا.ح. حمزه نوری. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
۵. سلطانی حویزه، م.، ا. ارزانی و ع. م. میرمحمدی میبیدی. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به شوری ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر در شروع رشد رویشی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. نهال و بذر ۲۴(۱): ۱۴۵-۱۴۹.
۶. شمس‌الدین سعید، م. و ح. فرح بخش. ۱۳۷۸. بررسی صفات کمی و کیفی عملکرد کلزا تحت شرایط تنش شوری و شناسایی بهترین شاخص مقاومت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۴۳الف): ۶۵-۷۸.
۷. شاهسوند حسنی، ح. و س. عبد میثانی. ۱۳۷۲. ارزیابی ارقام گندم ایرانی از نظر تحمل به شوری. خلاصه مقالات اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج.
۸. فتح باهری، س.، ع. جوانشیر، ح. کاظمی و ا. حجازی. ۱۳۸۲. ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره. مجله دانش کشاورزی ۱۳ (۲): ۱۹۵-۲۰۵.

۹. فرایدی، ی. ۱۳۸۴. ارزیابی و انتخاب برای مقاومت نسبت به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های نخود تیپ کابلی. چکیده مقالات اولین همایش ملی حبوبات، آبان ۸۴. مشهد، ص. ۱۴۳.
۱۰. فرشادفر، ع. م. ر. زمانی، م. مطلبی و ع. امام جمعه. ۱۳۸۰. انتخاب برای مقاومت به خشکی در لاین های نخود. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۲ (۱): ۱۰۵-۱۱۳.
۱۱. کرمی، ع. م. ر. قنادها، م. ر. نقوی و م. مرادی. ۱۳۸۵. شناسایی ارقام متحمل به خشکی در جو. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۷ (۱): ۳۷۹-۳۷۹.
۱۲. میردادی، ح. ر. و ح. ا. زاهدی پور. ۱۳۸۳. بررسی میزان مقاومت به شوری خاک در سه گونه گیاه شور پسند. فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۱ (۴): ۴۲۵-۴۵۰.
۱۳. نورمند مؤید، ف. ۱۳۷۶. بررسی تنوع صفات کمی و روابط آنها با عملکرد گندم نان (*T. aestivum*) شرایط دیم و آبی و تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
۱۴. نوری نیا، ع. د. نادری و ف. یغمایی. ۱۳۸۳. ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های جو معمولی و بدون پوشینه متحمل به شوری. مجموعه مقالات هشتمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه گیلان.
15. Bernstein, L. 1962. Salt-affected soils and plants. In: Problems at the Arid Zones. Proc. 18th UNESCO Symp. Paris, France, PP. 139-174.
16. Clark, J. M., R. M. Depauw and T. F. Townley – Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Sci. 32:723-728.
17. Clark, J. M., T. F. Townley – Smith, T. N. McCaig and D. G. Green. 1984. Growth analysis of spring wheat cultivars of varying drought resistance. Crop Sci. 24:537-541.
18. Eshghi, A. G. and Gh. Khalilzadeh. 2006. Selection of bread wheat cultivars and lines for drought resistance. The First International Conference on the Theory and Practices in Biological Water Saving (ICTPB). 21-25 May 2006, Beijing, China.
19. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In proceeding of adaptation for food crops to temperature and water stress symposium. Taiwan. PP: 257-270.
20. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Aust. J. Agric. Resour. 29: 897-912.
21. Golabadi, M., A. Arzani and A. M. Mirmohammadi Maibodi. 2006. Assessment of drought tolerance segregating populations in durum wheat. Afr. J. Agric. Res. 1(5):162-171.
22. Heinrich, G. M., C. A. Francis and J. D. Eastin. 1983. Stability of grain sorghum yield components across diverse environments. Crop Sci. 23:209-212.
23. Manchanda, H. R. and S. K. Sharma. 1989. Tolerance of chloride and sulphate salinity in chickpea (*Cicer arietinum*). Agric. Sci. 113:407-410.
24. Reza Mohammadi, R., R. Haghparast and M. Aghae. 2005. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance under rainfed conditions. Theme 10. Application of new technologies and technology transfer and crop improvement for dry areas.
25. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: 943 -946.
26. Roustaii, M., E. Zadhehassan and H. Ketata. 2005. Adaptability and stability analysis of grain yeild in advanced bread wheat lines in cold and moderate dryland areas of iran. Theme 10. Application of new technologies and technology transfer and crop improvement for dry areas.
27. Singla, R. and N. Garg. 2002. Physiological basis of salt tolerance in DESI and KABULI genotypes of chickpea. Plant Sci. B:13